

第37回2020年度待ち行列シンポジウムルポ

「確率モデルとその応用」



加藤 憲一 (神奈川大学)

1. はじめに

2021年1月25日から27日までの3日間、2020年度待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」が開催された。本シンポジウムは待ち行列モデルを主な対象とする、確率モデル全般に関する研究集会である。1980年度に第1回が開催され、2020年度で37回目の開催となる。従来から盛んに研究されてきた待ち行列モデルの理論的な研究や情報通信分野への応用だけでなく、確率過程一般の解析や、サービス産業を含めた幅広い応用分野を対象とした研究発表が増えていることも近年の特色となっている。当初は大阪大学を会場として対面発表とオンライン発表を併用する方式で準備が進められていたが、新型コロナウイルス感染症感染拡大の影響によりすべてオンラインで発表する方式に変更となった。オンライン開催にあわせて参加も事前申し込みのみの受付となり、54名の参加者があった。一般セッションは4件、学生セッションは13件、ショートペーパーセッションは3件の発表が行われた。2日目には滝根哲哉氏 (大阪大学) をお招きして特別講演が行われた。プログラムは待ち行列シンポジウムのウェブページ (<https://sites.google.com/site/qsymp2020/>) にて公開されているので、興味があればぜひご覧いただきたい。

2. 一般セッションとショートペーパーセッション

一般セッションは4件の発表があった。井上文彰氏 (大阪大学) は、遠隔モニタリングシステムにおいて、モニタ情報の生成を到着とし遅延をサービス時間とみなしたGI/GI/∞待ち行列を用いてAoI (Age of Information) と呼ぶ情報の遅延時間の確率分布を導出した。モニタ情報の生成が一定間隔と指数分布であるモデルを比較し、遅延時間分布の間に成立する確率的な順序関係について考察がなされた。野場啓氏 (大

阪大学) からは、レヴィ過程で表される需要過程をもつ在庫問題の在庫補充戦略についての発表がなされた。不連続点に特に仮定をおかない一般的なレヴィ過程に対してサンプルパスの観点で分析を行い、最適な在庫補充戦略について議論がなされた。岡村寛之氏 (広島大学) は、観測誤差をもつパラメータを用いて評価指標を算出する際の精度に関して発表された。評価指標のモーメントによる展開式を用いて、パラメータの誤差が評価指標の推定精度へ与える影響の程度をはかる手法が提案された。豊泉洋氏 (早稲田大学) からは、感染症の患者数の推移に関するモデルの提案と分析結果について報告があった。新規感染者の発生を一般化された幾何分布で与えられる大きさをもつ集団ポアソン到着とし、感染者数の推移をM/G/∞待ち行列で表現することによって、患者の治療に要する時間やクラスター生成サイズと感染者数の関係について議論がなされた。

ショートペーパーセッションは萌芽的な研究に対して参加者と情報を共有し議論を行うことを目的としたセッションである。ショートペーパーセッションでは3件の発表があった。客が到着時に系内容数などのシステムの状態から自身の待ち時間などの値を推定する問題に対して、混合密度ネットワークの枠組みを用いる手法が提案され、M/M/1待ち行列および優先権をもつ二つのクラスの客をもつ待ち行列に対しての数値結果が紹介された。物流センターの実データを用いて、受注量の変動から繁忙期の予測を行う研究が発表され、需要予測に機械学習を用いる可能性についての検討が加えられた。また、5G通信ネットワークシステムがレガシーネットワーク機器に加えて仮想ネットワーク機器を必要に応じて利用する点に着目し、待ち行列モデルを用いて、セットアップタイムなどのシステム固有の要素がジョブ待機時間などの性能指標に与える影響についての分析結果が発表された。

3. 学生セッション

学生セッションでは待ち行列モデルに対する理論的な研究にとどまらず、情報・通信・サービスシステムや、社会現象を対象としたさまざまな確率モデルに関する研究成果の発表があった。

情報・通信システムに関連する研究では、デッドラインと呼ぶ情報の有効期間を考慮したAoIを、M/M/1/2待ち行列によって解析する研究が報告された。無線通信のテーマでは2件の発表があった。平面上に定常ポアソン点過程によって配置された基地局と、任意に移動するユーザを設定したモデルに対して、通信性能の評価結果が報告された。また、異なる周波数を組み合わせたハイブリッド無線通信システムに対して、シミュレーション実験により受信強度の確率を求めることで、周波数の差異が盗聴などのセキュリティ上の脆弱性に与える影響についての分析結果が報告された。機械学習を扱った研究として、2種類のジョブを処理する機械学習システムにおいて、並列型と共有型の二つの処理方式の性能比較を待ち行列モデルを用いて行う手法が紹介された。

待ち行列に関連する確率過程全般の理論的な研究として、非斉次な拡散係数をもつ拡散方程式系に連続極限の意味で収束する離散状態マルコフ連鎖に関する分析や、M/G/1型待ち行列の推移確率行列のレベル増分切断による定常状態確率の計算精度に関する報告がなされた。

社会におけるさまざまなサービスを待ち行列の観点からモデル化した研究も報告された。生産システムの作業効率の評価を、作業人員数やそのスキルによる効率の違いを考慮して、GI/G/m待ち行列を用いて評価する手法が提案された。領空防護を目的とした要撃機配備の性能評価を待ち行列ネットワークを用いて行う手法の提案がなされた。また、到着時に整理券を配布し、参入放棄を伴う待ち行列モデルの解析や、二つのクラスの客を想定したタクシー乗車場を行列幾何の手法を用いて解析する研究が報告された。近年ORの観点から研究が盛んになされているカーシェアリングシステム(CRS)に関連して、2地点間の相互の移動を想定したバス路線を補完するCRSの待ち行列モデルによる性能評価手法が提案され、道路の混雑状況を考慮したCRSの得失が議論された。

確率モデルを社会における情報伝播や、生物の生態に適用する研究成果も発表された。情報の授受がグラ

フ構造で表現されるエージェント間において、隣接エージェントの意見に応じて自らの意見を調整するエージェントモデルを考え、初期の意見分布が合意形成された結果の従う分布に与える影響についての分析結果が報告された。また、真社会性をもつ生物群に出生死滅モデル適用し、個体のコロニーからの脱出の適否を基本再生産数や絶滅確率の観点から考察がなされた。

4. 特別講演

シンポジウムの2日目には、滝根哲哉氏(大阪大学)による「0-1の列で表現される待ち行列モデルの特別なクラスについて—行列積仮設(matrix-product ansatz)の意味するところ—」と題した特別講演が行われた。滝根氏はこれまで本シンポジウムや待ち行列研究部会においてさまざまな待ち行列モデルの解析的な研究成果を発表されてきた。今回の講演では行列積仮設の待ち行列モデルへの適用がテーマとなった。行列積仮設とは、確率過程の解析において、定常測度が行列積で表されると仮定する議論の枠組みを意味する。講演では、行列積仮設が成立する待ち行列モデルの例として、客が前進するための時間を要するセルオートマトン型のモデルが紹介された。客の離脱を伴う整理券付き待ち行列と、ブロッキングを伴う直列型待ち行列の二つのモデルに対して、はじめに定常状態確率の行列積仮設による表現式を示し、次にマルコフ連鎖の定常方程式の観点から表現式の確率論的な解釈が試みられた。行列積仮設として提示される式は、局所的な平衡方程式として意味付けが可能な部分もあるが、結果的に成立しているにもかかわらず明確な解釈ができない等式が残ることが報告された。

セルオートマトン型の待ち行列モデルは、M/M/1待ち行列のような客が行列内で瞬時に移動するモデルと異なり、客の間に空きスペースを許容しつつ進行する。そのため、待ち行列長と待ち客数は異なる情報をもつ。これは待ち行列の研究者が想定する多くの応用分野において、より現実的な挙動を反映していると言える。しかし、セルオートマトン型のモデルは状態数が大きくまた推移構造が複雑になりやすく、解析も難しいことが多い。今回紹介された行列積仮設の枠組みは、従来解析が困難とされてきた待ち行列に適用し得る興味深い手法であると感じた。

5. 研究奨励賞

シンポジウムでは優秀な発表を行った学生に対して研究奨励賞を授与している。学生による研究発表はいずれも優れたものであったが、厳正な審査のうえ、以下の2名の方が選出された。

- 車塚彩菜氏（東京工業大学）「確率的な参入放棄のある整理券付き M/G/1 待ち行列の解析」
- 大内克久氏（京都大学）「A geometric convergence formula for the level-increment truncation approximation of M/G/1-type Markov chains」

車塚氏の研究は、客が到着時に整理券を受け取り、整理券番号と呼出し番号との差である見かけの待ち行列長に依存する確率で列に並ぶか退去するかを選択する待ち行列モデルを扱ったものである。客のサービスは単一窓口で一般分布に従う時間を要するものとする。このモデルの挙動はサービス終了時点で区分した隠れマルコフ連鎖として表現できるが、客の退去の履歴を状態とする複雑な推移をもち解析が難しい。そこで状態を単純化した近似モデルを提案し、近似モデルの定常状態確率の解析的な形を求めた。大内氏は昨年度に続いての受賞となった。M/G/1型マルコフ連鎖に対して定常分布の計算に用いられる Ramaswami の再帰式において、レベル増分切断を適用した際の近似精度を分析した研究である。切断後のマルコフ連鎖の定常状態確率は、切断レベルの極限をとると元のマルコフ連鎖の定常状態確率に収束する。ここではその収束の早さを評価した。昨年度の発表ではレベル増分分布の裾が劣幾何的な場合を考えた。今回は幾何的と仮定し、このとき収束もまた幾何的な早さであることを示した。また、減衰率をレベル増分の行列母関数の収束半径か

ら与える公式を導いた。なお上記2名の方の表彰は第293回待ち行列研究部会（2021年2月20日）にて行われた。

6. おわりに

37回目の開催となった待ち行列シンポジウムでは、待ち行列モデルはもとよりOR全般にわたり理論と応用の両面で興味深くかつ有意義な議論が交わされた。冒頭で述べたとおり、今回は初のオンラインでの開催となった。発表と聴講はZoomにより行われ、休憩時にはブレイクアウトルーム機能を用いて個別の意見交換の場が設けられた。筆者もオンラインでの参加となったが、講演時の音声伝達や資料提示、質疑応答は特に支障なく実施されたと考える。他方で、発表後の意見交換や議論については、対面と同じ水準で行うのはやや難しいとの印象をもった。今年度は多くの大学でオンラインによる講義実施を余儀なくされるなど、教育や研究の環境に大きな変化が生じた。そのような状況下で参加者各人の協力によりシンポジウムを無事に実施できたことの意義を強調したい。本シンポジウムは来年度も引き続き開催を予定している。報告を読まれて興味をもたれた方は、次回シンポジウムへのご参加・ご発表をぜひ検討していただきたい。シンポジウムの報文集も販売しているので、ご要望の方は待ち行列研究部会の主査・幹事へご連絡いただきたい。

シンポジウムの開催にあたり、待ち行列研究部会主査である実行委員長の河西憲一先生（群馬大学）、幹事の木村達明先生（大阪大学）ならびに実行委員の先生方には並々ならぬご尽力をいただいた。参加者を代表して、この場をお借りして感謝の意を表したい。